

УДК 532.526

Леонід Романюк, канд. техн. наук, доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ВРАХУВАННЯ ОСНОВНИХ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТУРБУЛЕНТНИХ ПРИМЕЖЕВИХ ТЕЧІЙ

Наведено розроблену та апробовану алгебраїчну модель коефіцієнта турбулентної в'язкості. Модель сформульовано у вигляді єдиної формули для всього примежового шару, так що після модифікації її коефіцієнтів та параметрів з метою врахування наявних у реальних течіях ускладнюючих факторів вона узагальнюється для розрахунку широкого класу задач пристінних течій.

Ключові слова: турбулентна в'язкість, примежовий шар, пристінні течії.

Leonid Romaniuk

INFLUENCE OF BASIC PHYSICAL FACTORS IN MODELING OF NEAR WALL TURBULENT FLOWS

The developed and tested algebraic model of the coefficient of turbulent viscosity is presented. The model is formulated in the form of a single formula valid along all the boundary layer thickness. By use of modification and empirical coefficients and parameters to take in account action of several physical factors the models are generalized for application in computations of large class of near wall turbulent flows.

Keywords: turbulent viscosity, boundary layer, near wall flows.

При моделюванні двовимірних турбулентних примежових шарів нестискуваної рідини можна використовувати алгебраїчну модель коефіцієнта турбулентної кінематичної в'язкості у вигляді єдиної по всій товщині примежового шару формули:

$$\nu_t = \chi \Delta \nu_* \gamma(\bar{y}) l \frac{\sqrt{\tau_+}}{\chi \Delta},$$
$$l = k y l \frac{sh^2(\chi_1 y^+) th[sh^2(\chi_2 y^+)]}{k y^+ \sqrt{\tau^+}},$$

де $\bar{y} = \frac{y}{\delta}$ - відносна координата, l - довжина шляху перемішування, Δ - параметр довжини Ротта-Клаузера, $\gamma(\bar{y})$ - коефіцієнт перемішування потоку, τ^+ - напруження тертя в околі стінки: $\tau^+ = \begin{cases} 1 + \phi \bar{y} & \text{при } \phi \geq 0 \\ 1 / (1 - \phi \bar{y}) & \text{при } \phi = 0 \end{cases}$,

ν_* - динамічна швидкість, χ_1 , χ_2 , k , χ - емпіричні коефіцієнти моделі.

Формули забезпечують пропорційність коефіцієнта турбулентної в'язкості у в'язкому підшарі - y^4 , в перехідній зоні - y^2 , в логарифмічній зоні y . Проведені обчислювальні експерименти дозволяють використовувати для модельних коефіцієнтів залежності, котрі записуються у вигляді $\Pi = \Pi_0 \cdot \Pi_R \cdot \Pi_p$, та свідчать про мультиплікативність впливу цих факторів, де Π - модельний коефіцієнт, Π_0 - його значення для плоского безградієнтного примежового шару, Π_R - поправка на малі числа Рейнольдса, Π_p - поправка на поздовжній градієнт тиску.

У в'язко-перехідній зоні пропонуються поправки виду:

$$\chi_{1R} = 1 + 0.01 \left(1 - e^{\frac{14}{1 + (0.001R^*)^2}} \right), \quad \chi_{2R} = 1,$$

$$\chi_{1R} = 1 + 15.089p + r_1 r_2, \quad \chi_{2R} = 1 + 30.178p^+,$$

$$\text{де } r_1 = 1 - 0.5e^{-0.1436\beta} + 0.5e^{-0.3531\beta}, \quad r_2 = 1 - e^{\frac{-76.1528p^+}{\beta}} + e^{\frac{-361.4064p^+}{\beta}}.$$

У логарифмічній зоні та в зовнішній області примежового шару $k_R = 1$,

$$k_p = \begin{cases} 1 + 0.45568(1 + p^+)s & \text{при } \frac{dp}{dx} \geq 0 \\ 1 + 146.27568\left(\frac{p^+}{\beta}\right)s & \text{при } \frac{dp}{dx} < 0 \end{cases}, \quad \chi_R = \frac{1.55}{\left[1 + 0.55\left(1 - e^{-0.243\sqrt{z_1} - 0.298z_1}\right)\right]},$$

$$\chi_p = 0.0095 + \left[74.6 + (2.4 + \beta)^2\right]^{-1}, \quad \text{де } s = 1 - e^{-0.32068\beta}, \quad z_1 = \left(\frac{R^{**}}{425}\right) - 1.$$

При значеннях параметра $-\frac{\nu}{U_E^2} \frac{dU_E}{dx} > 10^{-7}$ рекомендується використовувати

$$\text{залежність: } \chi_p = 0.0168 + \left[212.85 + (2.4 + \beta)^2\right]^{-1}.$$

Аналіз результатів розрахунків показав, що модель пристосована для розрахунків нерівноважних течій, але не забезпечує достовірних розрахунків для рівноважних течій. Результати проведених обчислюваних експериментів для примежових шарів з $\frac{dH}{dx} < 0$ показали, що модель здатна прогнозувати такі течії при умові внесення модифікацій в деякі модельні коефіцієнти. Для цього випадку отримані поправки для коефіцієнтів логарифмічної зони та зовнішньої області в залежності від $H = \frac{\delta^*}{\delta^{**}}, \frac{dH}{dx}, R^{**}, \beta$.

З метою врахування шорсткості стінки у запропонованій моделі для пристінної області, згідно з пропозиції Ротта, робиться зсув координати y на деяку величину Δy , тобто $l(y^+)$ замінюється на $l(y^+ + \Delta y^+)$. Шкваром запропоновано такі залежності для знаходження величини Δy^+ :

$$\Delta y^+ = \begin{cases} \left(\frac{1}{\chi_1}\right) \text{arcth}(\chi_1 \Delta u^+) & \text{при } h^+ \leq h^* \\ h^+ e^{-kB(h^+)} & \text{при } h^+ > h^* \end{cases},$$

$$\text{де } h^* = 25.3611e^{k(C+2.89)},$$

$$\Delta u^+ = \left(\frac{1}{k}\right) \ln h^+ - B(h^+) + C,$$

$$B(h^+) = C + Sth\left(\frac{\ln h^+}{kS}\right),$$

$$S = \frac{2.89}{\left[1 - 87\left(\frac{\ln h^+}{8}\right)^{2.03} \left(1 - \frac{\ln h^+}{8}\right)^{8.386}\right]},$$

$$k = 0.4, \quad C = 5.6.$$